

課題名	炉心損傷時の炉心物質再配置挙動評価手法の開発			
参画機関	日本原子力研究開発機構 九州大学			
事業規模	期間	平成22年度～25年度	総額	298百万円

【研究代表者】

飛田 吉春

日本原子力研究開発機構
炉心安全評価グループ
(現) 日本原子力研究開発機構
プラント安全評価部



【研究概要】

ナトリウム冷却型高速増殖炉（以下「FBR」と称する）の安全確保の基本は、異常が生じたときに原子炉を停止し、炉心を冷やし、放射性物質を閉じ込めること、所謂、「止める」「冷やす」「閉じ込める」です。そのために、万が一原子炉を止めることに失敗して炉心が損傷しても、損傷した炉心物質を原子炉容器内で冷却し、保持することが重要となります。

FBRで炉心が損傷すると、炉心で溶けた物質は図1のように制御棒案内管を通じて原子炉容器の下部に流下します。このことで炉の出力が自ずと低下して原子炉が止まり、また、冷却性能に優れた液体ナトリウム中に流出した炉心物質は、冷却しやすい「デブリ」と呼ばれる微粒子となって堆積します。本研究では、FBRで炉心が損傷する事故が発生しても炉心物質が炉容器内に閉じ込められることを確認することができる方法として、これらの①制御棒案内管を通じた流出、②流出した炉心物質のナトリウムによるデブリ化、③堆積したデブリの冷却挙動の評価手法を開発しました。

まず、炉心物質が炉容器下部へ流出する挙動を模擬した実験を行い、実験データを用いて流出挙動を解析する計算コードの検証と改良を進めました。さらに流出する炉心物質がデブリとなるために必要な距離を炉心物質の流速や重さなどから求める計算式を開発しました。また、堆積したデブリの内部で冷却材が沸騰することで、山型に堆積したデブリがより冷却しやすい平坦な形に崩れていく挙動を解析できる計算コードも開発しました。これらの評価技術によってFBRの炉心損傷事故の推移を詳しく評価できるようになり、安全評価の信頼性を飛躍的に高めることが可能となりました。

【その後の取り組み】

今回、開発した評価技術は、東電福島事故を反映した新たな規制への高速増殖原型炉「もんじゅ」の適合性の評価に活用されています。また、今後開発される国内外のFBRの安全性を確保するための設計に対して、合理的な評価手法を提供するものとして期待されています。

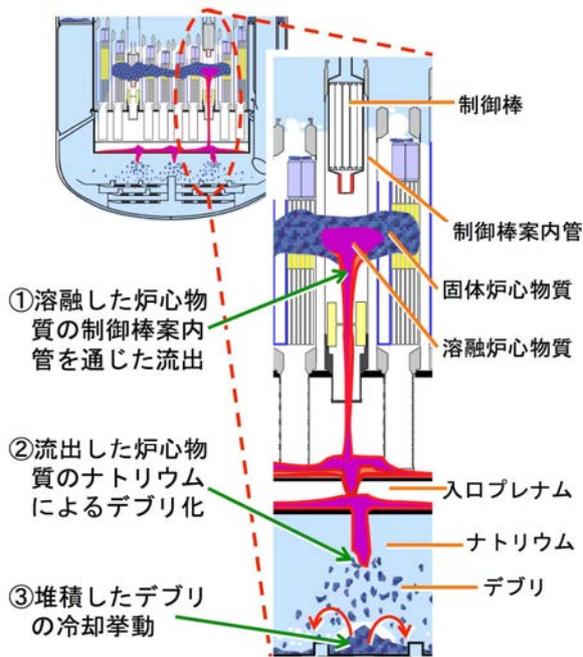


図1 FBR炉心損傷時の物質移行挙動
 溶融した炉心物質は制御棒案内管を通じて流出し、炉容器の下部でナトリウムと接触して微粒子（デブリ）となって堆積します。

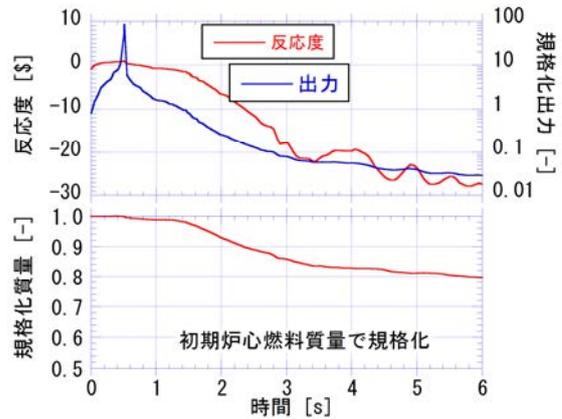


図2 炉心物質の流出による炉停止
 本研究で開発した流出挙動解析手法をFBRの炉心損傷事故の解析に適用し、制御棒案内管を通じて炉心物質が流出することによって炉の出力と反応度が低下して原子炉が停止することを示しました。

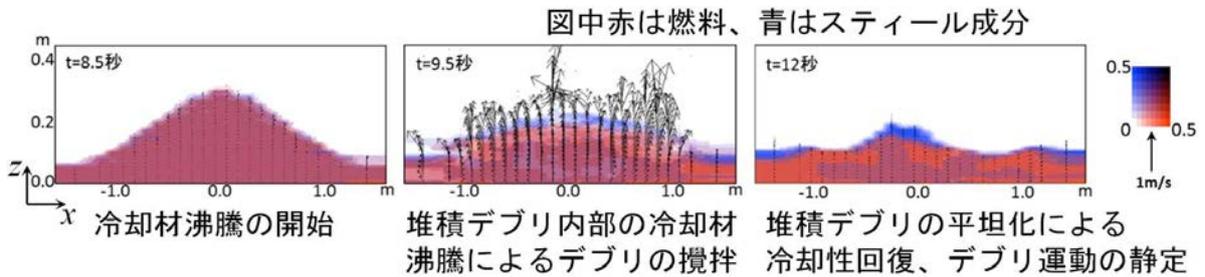


図3 ナトリウム沸騰による山状堆積デブリの形状変化
 崩壊熱で堆積デブリ内のナトリウムが沸騰して堆積デブリが攪拌され、より冷却されやすい平坦な形状へ変化する挙動を解析することが可能となりました。

代表的な
 特許、論文
 受賞など

【発表論文等】

1. K. Matsuba, et al., "Fundamental experiment on the distance for fragmentation of molten core material during core disruptive accidents in sodium-cooled fast reactors," Nuclear Safety and Simulation, Vol. 4, Number 4, pp.272-277, December 2013.
2. H. Tagami, et al., "Numerical Simulation for Debris Bed Behavior in Sodium Cooled Fast Reactor," The 10th Int. Topical Mtg. on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-10), NUTHOS10-1220, Okinawa, Japan, December 14-18, 2014.
3. Y. Tobita, et al., "Development of the Evaluation Methodology for the Material Relocation Behavior in the Core Disruptive Accident of Sodium Cooled Fast Reactors," The 10th Int. Topical Mtg. on Nuclear Thermal-Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-10), NUTHOS10-1220, Okinawa, Japan, December 14-18, 2014.

【受賞】

1. 最優秀論文賞、2013年、松場賢一、他、International Symposium on Symbiotic Nuclear Power Systems for the 21st Century (ISSNP2013), 上記発表論文1.
2. 最優秀論文賞、2014年、飛田吉春、他、上記発表論文3.
3. 計算科学技術部会奨励賞、2014年、L. Guo、日本原子力学会「2014年春の年会」